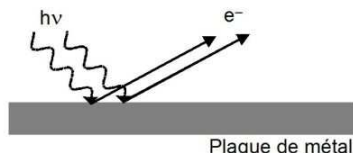


LES RECEPTEURS PHOTOSENSIBLES

1. L'effet photoélectrique

1.1 Description

Lorsqu'une plaque de métal est éclairée par un faisceau lumineux de fréquence f , celle-ci émet dans certaines conditions des électrons.



En dessous d'une certaine valeur seuil de la fréquence du rayonnement, notée f_0 , aucun électron n'est émis.

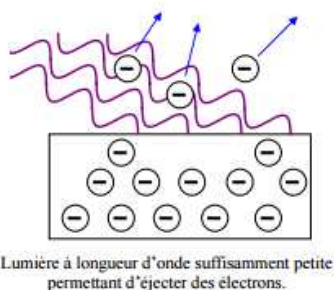
L'émission d'électrons n'est pas conditionnée par l'intensité du rayonnement mais uniquement par sa fréquence. Ainsi, si l'on augmente très sensiblement l'intensité du rayonnement à une fréquence inférieure au seuil d'émission des électrons, aucun électron n'est émis.

1.2 Caractéristiques de l'effet photoélectrique

- Longueur d'onde très courte :

Lorsque la longueur d'onde est très courte (fréquence élevée), le nombre d'électron éjecté est proportionnel à l'intensité de la lumière.

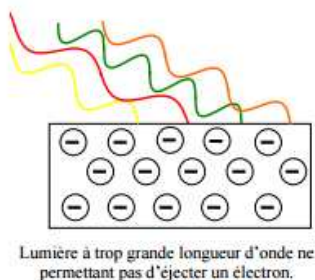
Exemple : éjection d'un très grand nombre d'électron sous l'exposition d'une lumière violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$) sur une plaque de sodium.



- Longueur d'onde trop longue :

Lorsque la longueur d'onde est trop grande (basse fréquence), il n'y a pas d'électron éjecté de la structure même si l'intensité lumineuse est très élevée.

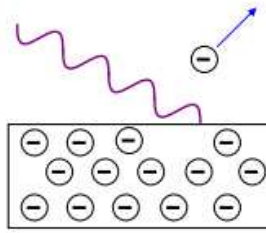
Exemple : Aucun électron éjecté pour une plaque de sodium exposé à la lumière rouge ($\lambda = 700 \text{ nm}$), la lumière orange ($\lambda = 650 \text{ nm}$), la lumière jaune ($\lambda = 600 \text{ nm}$) et la lumière verte ($\lambda = 550 \text{ nm}$).



- Longueur d'onde inférieure au seuil

Lorsque la longueur d'onde est inférieure à la longueur d'onde de seuil (fréquence supérieure à la fréquence de seuil), il y a des électrons éjectés de la structure même si l'intensité lumineuse est très faible.

Exemple : La longueur d'onde de seuil du sodium est égale à $\lambda_0 = 460 \text{ nm}$.



Même à faible intensité, une lumière à longueur d'onde inférieure à la longueur d'onde de seuil permet d'éjecter des électrons.

1.3 Interprétation de l'effet photoélectrique

Il faut considérer, dans ce cas, le caractère corpusculaire de la lumière et de cette façon la lumière se comporte comme un ensemble de corpuscules (les photons).

L'énergie E d'un photon est proportionnelle avec sa fréquence f

$$E = hf$$

où h est la constante de Planck ($h=6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$) et f est la fréquence des radiations considérées.

Un photon qui est absorbé cède son énergie à un électron. Si cette énergie est assez grande, il peut se libérer de la surface du métal.

1.4 Applications de l'effet photoélectrique

Les applications sont différentes si l'effet photoélectrique est externe ou interne.

Effet photoélectrique externe : Utilisé dans les cellules photoémissoives et les photomultiplicateurs pour la mesure des intensités lumineuses.

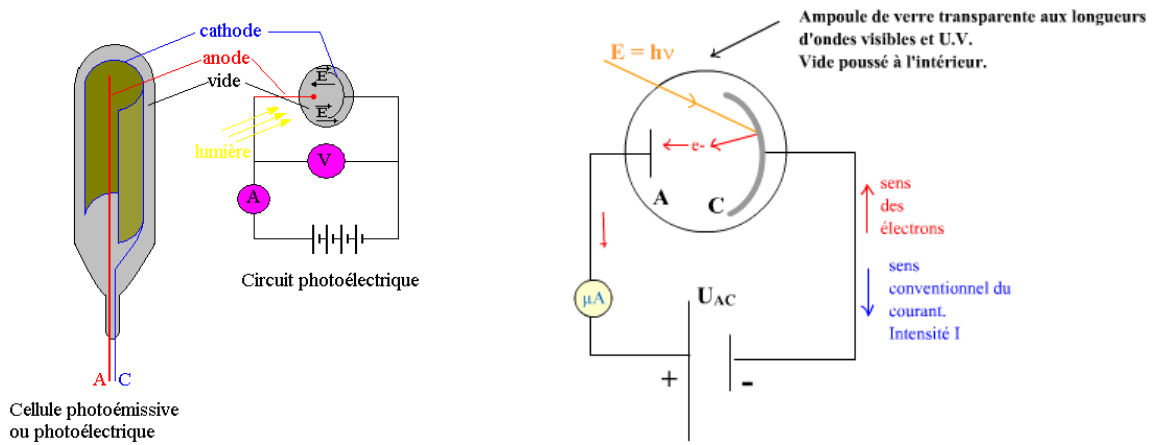
Effet photoélectrique interne dans les semi-conducteurs : Il résulte de l'excitation d'un électron dans la bande de conduction qui donne en général lieu à un courant. Utilisé dans des détecteurs (photodiodes, photorésistance, C.D.C ...) ou pour fournir de l'électricité (cellule photovoltaïque).

2. Les cellules photoémissoives ou photoélectriques

2.1 Description

Une cellule photoémissoive est une ampoule de verre transparente à ultraviolet scellé et dans laquelle on a fait un vide poussé. Elle est constituée d'une cathode métallique C et d'une anode A .

Si on envoie sur la cellule une lumière monochromatique de longueur d'onde de plus en plus petite, on constate qu'il y'a apparition d'un courant dans le circuit pour toute longueur d'onde.



L'anode est portée à la tension positive U_{AC} par rapport à la cathode C.

2.2 Fonctionnement

Les photons incidents percutent le métal de la cathode. Ces photons extirpent des électrons du métal et ces électrons quittent la matière avec une certaine quantité d'énergie cinétique.

Plus le flux de photons incident est important, plus le nombre d'électrons arrachés est important

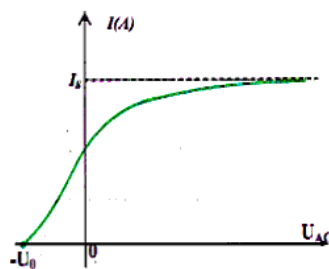
Entre la cathode et l'anode, des électrons se déplacent : c'est le courant électrique généré, donné par la relation :

$$I = \frac{q}{t} = \frac{N_e \times e}{t} \quad \text{où } N_e \text{ est le nombre d'électrons émis et } e \text{ la charge d'un}$$

électron.

2.3 Courbe caractéristique d'une cellule photoémissive

La courbe caractéristique d'une cellule photoémissive est la courbe représentant les variations de l'intensité I en fonction de la tension U_{AC} . Elle est obtenue en éclairant la cellule photoémissive par des radiations de fréquence supérieure à la fréquence seuil f_s pour une certaine puissance lumineuse.



Si $U_{AC} > 0$, les électrons émis par la cathode sont attirés par l'anode et son nombre croît avec la tension U_{AC} avant de se stabiliser pour une certaine valeur de l'intensité de courant appelée intensité de saturation I_s .

$$I_s = \frac{N_e \times e}{t}$$

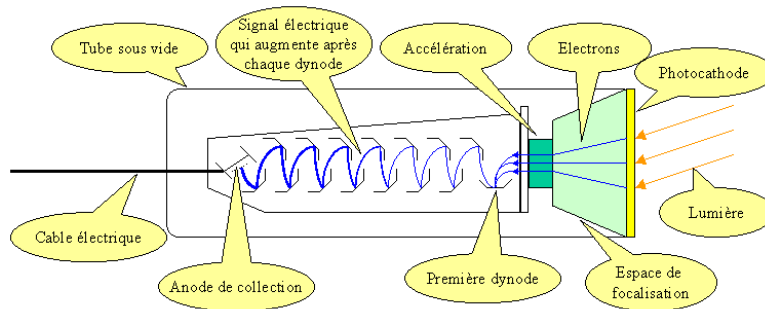
Si $-U_0 < U_{AC} < 0$, certains électrons émis par la cathode peuvent atteindre l'anode.

Si $U_{AC} > -U_0$, l'intensité I est nulle et aucun électrons émis par la cathode ne parvient à l'anode.

3. Le photomultiplicateur

3.1 Description

Le photomultiplicateur (PM) est un appareil qui permet de convertir la lumière en signal électrique. On l'utilise dans le domaine nucléaire, spatial ou encore médical. Un photomultiplicateur est un dispositif permettant la détection de photons.



3.2 Fonctionnement

Lorsqu'un photon passe à travers le scintillateur, il va frapper la photocathode. Des électrons sont alors produits par effet photoélectrique.

L'électrode de focalisation permet de diriger les électrons créés vers le multiplicateur d'électrons.

Celui-ci est composé d'électrodes, également dénommées dynodes. Chacune de ces dynodes est maintenue à un potentiel plus élevé que le précédent.

Les électrons incidents sont accélérés par le champ électrique ainsi produit et vont frapper la première dynode. Ce choc va créer d'autres électrons, moins énergétiques mais plus nombreux. C'est l'émission d'électrons secondaires.

Tous ces électrons vont à nouveau être accélérés et vont frapper la seconde dynode, créant de nouvelles particules, et ainsi de suite jusqu'à atteindre l'anode. L'accumulation de ces électrons sur l'anode crée une brève impulsion de courant, marquant ainsi la détection d'un photon.

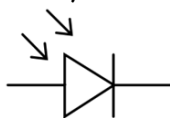
L'intensité I à la sortie du photomultiplicateur est donnée par la relation :

$$I = n^k I_{\text{cathode}}$$
 où n est le nombre d'électrons secondaires et k le nombre de dynode.

4. La photodiode

4.1 Description

Une photodiode est constituée d'un cristal semi-conducteur (Si, Ge) qui, lorsqu'on l'éclaire, émet un courant électrique par effet photoélectrique.



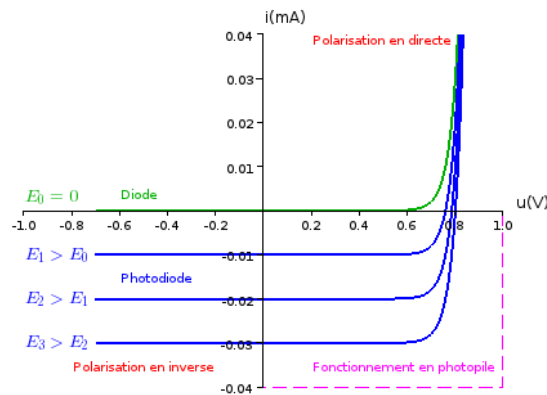
symbole d'une photodiode

4.2 Fonctionnement

Le détecteur de la photodiode absorbe les photons de la lumière. Les photons absorbés libèrent des électrons (électrons libres) dans le circuit. Le mouvement d'électrons vers la couche chargée positivement crée un courant.

4.3 Courbe caractéristique d'une photodiode

Il s'agit de la courbe représentative de l'intensité en fonction de la tension. Cette courbe s'obtient en réalisant un circuit en série avec une photodiode, une résistance, un ampèremètre, un voltmètre branché en dérivation aux bornes de la photodiode et un générateur dont on fait varier la valeur de la tension. On obtient ci-dessous les caractéristiques pour différent éclairement E .



Lorsque la photodiode est montée en inverse, l'intensité I du courant est proportionnelle à l'éclairement E .

$$I = k \times E$$

5. La photorésistance

5.1 Description

Une photorésistance est un composant dont la valeur de la résistance dépend de l'éclairement. On la désigne aussi par LDR (Light Dependent Resistor).

La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse (appareil photo, systèmes de détection, de comptage et d'alarme...). Elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure de cadmium qui se comportent comme des semi-conducteurs.



symbole d'une photorésistance

5.2 Fonctionnement

Un cristal de semi-conducteur à température basse contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente de plus en plus d'électrons qui étaient immobilisés dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

A température constante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la photorésistance est inversement proportionnelle à la lumière reçue.

5.3 Caractéristique d'une photorésistance

La courbe d'étalonnage de la photorésistance est non linéaire. Elle représente la valeur de la résistance en fonction de l'éclairement. Elle s'obtient en mesurant la valeur de la résistance de la photorésistance en faisant varier la valeur de l'éclairement.

